

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-317033
(43)Date of publication of application :16.11.1999

AD

(51)Int.Cl.

G11B 21/10

(21)Application number : 11-080723

(71)Applicant : INTERNATL BUSINESS MACH CORP
<IBM>

(22)Date of filing : 25.03.1999

(72)Inventor : FU-IN FAN
WAYNE ISAMI IMAINO
FRANCIS C LEE

(30)Priority

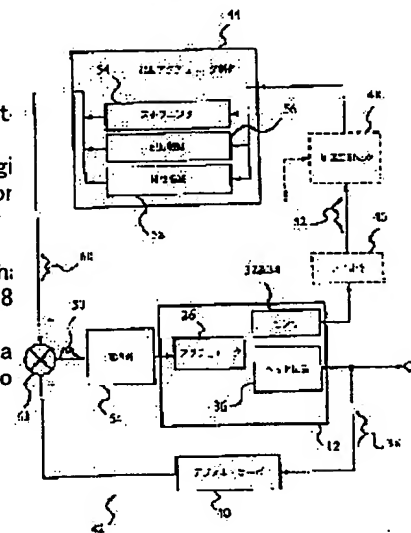
Priority number : 98 50858 Priority date 30.03.1998 Priority country US

(54) ACTIVE CONTROL FOR STABILIZING SERVO CONTROL TYPE ACTUATOR SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable a band operation highly by providing sensing means forming the signals correlated to a vibration mode in an actuator, inducing correction adjusting signals from these signals and combining the adjusting signals and a position signal and feeding back them to the actuator to avoid the limitation of a gain filtering.

SOLUTION: A position sensor 36 or a read/write head is connected to a digital servo 40 and the operation of an actuator 26 is limited based on the position of the read/write head. Sensors 32, 34 are connected to an active actuator control 44 via a filter 46 being an arbitrary selection and an acceleration interrupting circuit 48 being an arbitrary selection. The actuator control 44 has a stiffening part 54, an active control part 56 and an inertia reducing part 58 and it induces a stiffening correction, an active braking correction and an inertia reducing correction from signals 52 and these adjustment signals 60 are transmitted to a coupler or an adder 62 to be connected to the digital servo 40.



BEST AVAILABLE COPY

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 01.09.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3037946

[Date of registration] 25.02.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

R3

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-317033

(43) 公開日 平成11年(1999)11月16日

(51) Int.Cl.⁸

G 1 1 B 21/10

識別記号

F I

G 1 1 B 21/10

L

審査請求 有 請求項の数40 OL (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平11-80723

(22) 出願日 平成11年(1999) 3 月25日

(31) 優先権主張番号 09/050858

(32) 優先日 1998年 3 月30日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州
アーモンク (番地なし)

(72) 発明者 フーイン・ファン

アメリカ合衆国95131、カリフォルニア州
サン・ノゼ、デルカ・ドライブ 1586

(74) 代理人 弁理士 坂口 博 (外1名)

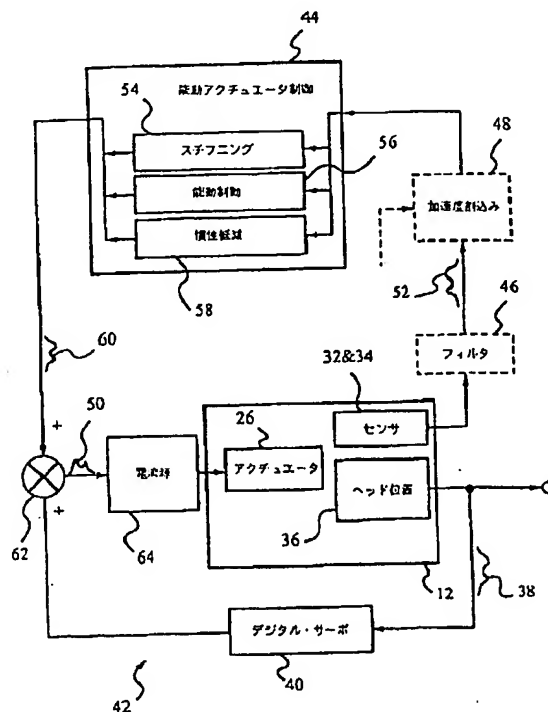
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 サーボ制御式アクチュエータ・システムを安定化するための能動制御

(57) 【要約】

【課題】 サーボ制御式アクチュエータ・システムを安定化する能動制御機構を提供することである。

【解決手段】 アクチュエータのアーム・アセンブリの振動モードを補正することにより、データ記録ディスク・ドライブ内のアクチュエータ・システムなどの、サーボ制御式アクチュエータ・システムを安定化するための能動制御機構及び方法が開示される。能動制御機構が、1つ以上の個々のセンサを含み得るセンシング機構を有し、センサがアーム・アセンブリの振動モード、特に全ての主要振動モードと同位相の信号を生成するアクチュエータ位置に取り付けられる。制御機構がそれらの信号から3つの補正項、すなわちスチフニング補正、能動制動補正、及び慣性低減補正を有する調整信号を導出する。この調整信号がフィードバック制御ループ内において、アクチュエータ・システムを安定化するために使用される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】アクチュエータ・システムを安定化する能動制御機構であって、前記アクチュエータ・システムがアーム・アセンブリと、前記アーム・アセンブリ上に実装され、被制御要素の変位を示す位置信号を生成する前記被制御要素と、前記アーム・アセンブリを移動することにより、前記被制御要素を移動するアクチュエータとを有し、前記アーム・アセンブリが振動モードに遭遇するものにおいて、

- a) 前記アクチュエータに取り付けられ、前記振動モードに相関付けられる信号を生成するセンシング手段と、
- b) 前記センシング手段に接続され、前記信号からステフニング補正、能動制動補正、及び慣性低減補正を含む調整信号を導出する制御手段と、
- c) 前記制御手段、前記被制御要素、及び前記アクチュエータに接続され、前記調整信号と前記位置信号とを結合し、前記アクチュエータを駆動するためのフィードバック信号を生成する結合要素とを含む、能動制御機構。

【請求項2】前記制御手段が前記振動モードと同位相の前記信号を生成する、請求項1記載の能動制御機構。

【請求項3】前記アクチュエータがコイルを含み、前記センシング手段が前記振動モードにより生成される前記コイルの揺れ変形を検出する、請求項1記載の能動制御機構。

【請求項4】前記センシング手段が少なくとも1つのひずみ率センサを含む、請求項3記載の能動制御機構。

【請求項5】前記制御手段が、前記ステフニング補正を生成する積分器と、前記能動制動補正を生成する線形要素と、前記慣性低減補正を生成する微分器とを含む、請求項4記載の能動制御機構。

【請求項6】前記アーム・アセンブリがコイル支持材を含み、前記コイルの前記揺れ変形が前記コイル支持材の変形を生成するように、前記コイルが前記コイル支持材内に実装される、請求項3記載の能動制御機構。

【請求項7】前記センシング手段が前記コイル支持材上に実装され、前記コイル支持材の前記変形を示す、請求項6記載の能動制御機構。

【請求項8】前記結合要素及び前記アクチュエータに接続され、前記フィードバック信号を受信し、前記アクチュエータを駆動する比例電流を生成する電流源を含む、請求項3記載の能動制御機構。

【請求項9】前記センシング手段が、ひずみセンサ及びひずみ加速度センサを含むグループから選択される、請求項1記載の能動制御機構。

【請求項10】前記アクチュエータがロータリ・アクチュエータである、請求項1記載の能動制御機構。

【請求項11】前記センシング手段及び前記制御手段に接続され、前記信号から高周波成分を除去するフィルタを含む、請求項1記載の能動制御機構。

【請求項12】前記制御手段に接続され、前記アーム・

アセンブリが加速している間、前記制御手段の動作を中断する割込み手段を含む、請求項1記載の能動制御機構。

【請求項13】前記被制御要素が読取り/書き込みヘッドであり、前記アクチュエータがハード・ドライブ・アクチュエータ・システムである、請求項1記載の能動制御機構。

【請求項14】アクチュエータ・システムを能動的に安定化する方法であって、前記アクチュエータ・システムがアーム・アセンブリと、前記アーム・アセンブリ上に実装され、被制御要素の変位を示す位置信号を生成する前記被制御要素と、前記アーム・アセンブリを移動することにより、前記被制御要素を移動するアクチュエータとを有し、前記アーム・アセンブリが振動モードに遭遇するものにおいて、

- a) 前記振動モードに相関付けられる信号を生成するステップと、
- b) 前記信号からステフニング補正、能動制動補正、及び慣性低減補正を含む調整信号を導出するステップと、
- c) 前記調整信号と前記位置信号とを結合し、フィードバック信号を生成するステップと、
- d) 前記アクチュエータを前記フィードバック信号により駆動するステップとを含む、方法。

【請求項15】前記振動モードが主要モードを含む、請求項14記載の方法。

【請求項16】前記生成するステップが、前記振動モードと同位相の前記信号を生成するステップを含む、請求項14記載の方法。

【請求項17】前記生成するステップが、前記振動モードと異なる位相の前記信号を生成するステップを含む、請求項14記載の方法。

【請求項18】前記アーム・アセンブリが加速している間、前記駆動するステップを中断するステップを含む、請求項14記載の方法。

【請求項19】a) センシング手段を前記アクチュエータのテスト位置に取り外し可能に取り付けるステップと、

b) 前記信号が最終位置の前記振動モードに相関付けられるまで、前記テスト位置を調整するステップと、

c) 前記センシング手段を前記最終位置に永久に取り付けるステップとを含む、請求項14記載の方法。

【請求項20】a) 前記アーム・アセンブリの前記振動モードを分析するステップと、

b) 前記信号が前記振動モードに相関付けられる最終位置を決定するステップと、

c) 前記センシング手段を前記最終位置に永久に取り付けるステップとを含む、請求項14記載の方法。

【請求項21】前記信号が電流である、請求項14記載の方法。

【請求項22】前記センシング手段がひずみSを測定

ファイル(F)

ツール(T)

(3)

特開平11-317033

3

し、前記信号が前記ひずみSに対応する。請求項14記載の方法。

【請求項23】前記ステフニング補正を導出するステップが、前記信号に定数を乗算するステップを含み、前記能動制動補正を導出するステップが、前記信号を微分するステップを含み、前記慣性低減補正を導出するステップが、前記信号を2度微分するステップを含む。請求項22記載の方法。

【請求項24】前記センシング手段がひずみ率S'を測定し、前記信号が前記ひずみ率S'に対応する。請求項14記載の方法。

【請求項25】前記ステフニング補正を導出するステップが、前記信号を低減するステップを含み、前記能動制動補正を導出するステップが、前記信号に定数を乗算するステップを含み、前記慣性低減補正を導出するステップが、前記信号を微分するステップを含む。請求項24記載の方法。

【請求項26】前記センシング手段がひずみ加速度S''を測定し、前記信号が前記ひずみ加速度S''に対応する。請求項14記載の方法。

【請求項27】前記ステフニング補正を導出するステップが、前記信号を2度低減するステップを含み、前記能動制動補正を導出するステップが、前記信号を低減するステップを含み、前記慣性低減補正を導出するステップが、前記信号に定数を乗算するステップを含む。請求項26記載の方法。

【請求項28】複数のデータ・トラックを有する回転式データ・ディスクと、振動モードに遭遇するアーム・アセンブリを有するアクチュエータ・システムと、前記アーム・アセンブリ上に搭載され、前記データ・ディスクにデータを読み書きし、前記データ・ディスク上の所望のデータ・トラックに対する読取り／書き込みヘッドの変位を示す位置信号を生成する前記読取り／書き込みヘッドと、前記アクチュエータ・システムを安定化する能動制御機構とを有する、データ記録ディスク・ドライブであって、前記能動制御機構が、

a) 前記アクチュエータに取り付けられ、前記振動モードに相関付けられる信号を生成するセンシング手段と、

b) 前記センシング手段に接続され、前記信号からステフニング補正、能動制動補正、及び慣性低減補正を含む調整信号を導出する制御手段と、

c) 前記制御手段、前記読取り／書き込みヘッド、及び前記アクチュエータに接続され、前記調整信号と前記位置信号とを結合し、前記アクチュエータを駆動するためのフィードバック信号を生成する結合要素とを含む、データ記録ディスク・ドライブ。

【請求項29】前記制御手段が前記振動モードと同位相の前記信号を生成する。請求項28記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

【請求項30】前記アクチュエータがコイルを含み、前

4

記センシング手段が前記振動モードにより生成される前記コイルの揺れ変形を検出する。請求項28記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

【請求項31】前記センシング手段が少なくとも1つのひずみ率センサを含む。請求項30記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

【請求項32】前記制御手段が、前記ステフニング補正を生成する微分器と、前記能動制動補正を生成する線形要素と、前記慣性低減補正を生成する微分器とを含む。請求項31記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

【請求項33】前記アーム・アセンブリがコイル支持材を含み、前記コイルの前記揺れ変形が前記コイル支持材の変形を生成するように、前記コイルが前記コイル支持材内に実装される。請求項30記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

【請求項34】前記センシング手段が前記コイル支持材上に実装され、前記コイル支持材の前記変形を示す。請求項33記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

【請求項35】前記結合要素及び前記アクチュエータに接続され、前記フィードバック信号を受信し、前記アクチュエータを駆動する比例電流を生成する電流源を含む。請求項30記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

【請求項36】前記センシング手段が、ひずみセンサ及びひずみ加速度センサを含むグループから選択される。請求項28記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

【請求項37】前記アクチュエータがロータリ・アクチュエータである。請求項28記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

【請求項38】前記センシング手段及び前記制御手段に接続され、前記信号から高周波成分を除去するフィルタを含む。請求項28記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

【請求項39】前記制御手段に接続され、前記アーム・アセンブリが加速している間、前記制御手段の動作を中断する停止手段を含む。請求項28記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

【請求項40】前記被制御要素が読取り／書き込みヘッドであり、前記アクチュエータがハード・ドライブ・アクチュエータ・システムである。請求項28記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、アクチュエータ・システムの複数の振動モードを安定化する能動制御のための装置及び方法に関する。

【0002】

【従来の技術】サーボ制御式アクチュエータ・システムは、機械的アクチュエータ共振により、重大な問題に遭遇する。これらの振動モードには、アクチュエータの自然モード及び介在する機械要素の自然モードが含まれ

る。機械的な複雑度が増すにつれ、任意の所与のアクチュエータ・システムの振動モードは、予測するのが困難になる。アクチュエータ・システムの動作周波数が増すと、問題は一層複雑化する。振動モードはサーボ系の制御ループ利得を制限したり、サーボ系の帯域幅を低減する。このことがトランスジューサ・ヘッドなどの被制御要素の位置決め後の整定時間を過剰にしたり、外乱に対する応答の劣化や、トラッキング能力の低下、またはそれらの組み合わせを引き起こす。

【0003】従来システムは、制御ループを安定化することにより、アクチュエータ・システムの安定な動作を保証しようとした。これは再度、電子ノッチ・フィルタなどの利得安定化フィルタを制御ループ・パス内に挿入することにより達成された。これらのフィルタは、制御ループの下流部分に配置され、ノッチの帯域除去周波数範囲内の信号情報を除去し、これらのアクチュエータの振動モードの励起を最小化する。

【0004】ノッチ・フィルタを使用する技術は、サーボ制御系が、軽度で制動される構造的アクチュエータ共振を効果的に無視することを可能にする。共振時、サーボ制御装置により適用される制御はほとんど存在しない。

【0005】この技術の欠点は、設計者が振動モードの周波数を正確に予測する能力に頼ることである。これは高精度な領域では、ますます困難になる。なぜなら、サーボ系が、予想できない振動モードを励起する多くの予知不能な外乱に晒されるからである。例えば、ハード・ドライブのアクチュエータにおいて、こうした外乱には、サーボ増幅器の飽和及びひずみ、例えばシーク活動によるアーム・アセンブリへの外力、乱気流、スティクションなどが含まれる。こうした外乱は通常、利得安定化フィルタが制御ループ内に存在する場合、補正が不可能な制御パス内のポイントにおいて生成される。結果的に、ノッチ・フィルタは、サーボ制御系の予測される共振を低減するためには有効であるが、サーボ制御ループ外の要因による他の振動モードの励起を阻止しない。

【0006】サーボ制御系の振動モードを制動させる別の技術が、1997年7月20日-23日に東京で開催された"情報及び精密装置のためのマイクロメカトロニクスに関する国際会議"において、Masahito Kobayashi により、"MR-46 Carriage Acceleration Feedback Multi-Sensing Controller for Sector Servo Systems"で提案された。そこで提案されたマルチセンシング制御システムは、加速度計を用いて、加速度フィードバックを生成する。加速度フィードバック制御装置がフィードバック信号を受信し、サーボを補正し、機械的共振モードを除去する。

【0007】Kobayashiらによる技術は立証されたが、ノッチ・フィルタ無しでは、効率的に実現され得ない。更に、フィードバック制御装置の設計のために、設計者

がサーボ制御系の非常に複雑な伝達関数 $H(s)$ をモデル化することを要求される。これは計算的に難題であり、かなりの処理時間を必要とする。更に、フィードバック制御装置内で使用される補償器の極及び0が決定されないで、安定な補償器の存在を保証することが可能でない。

【0008】従来技術はまた、制御ループ内のローパス・フィルタによる利得安定化を教示する。このアプローチでは、制御ループ内に挿入されるローパス・フィルタの遮断周波数が、アクチュエータ構造の軽度で制動される任意の共振の周波数よりも、一般に小さい。従って、共振周波数を有する制御信号の成分が、アクチュエータ構造の振動モードを励起することを、効果的に阻止される。このことはシステム安定性を保証する支援となるが、サーボ・ループの単位利得交差近くの周波数において、位相シフトを増加させる。実際、この欠点は、ノッチ・フィルタを含む全ての利得安定化フィルタに当てはまる。帯域幅の減少は、低周波振動及びランアウトなどのトラッキング性能、更に外部励起や位置決め動作の非線形性による他の外乱などを補正するためのサーボ系の能力を低下させる。

【0009】Sidmanらによる米国特許第5459383号では、サーボ系内の制御ポイントに、またはその近傍に配置される運動センサを使用するフィードバック・ループを教示する。そこでは、センサが"コロケートされる(collocated)"と称せられる。なぜならセンサは制御ポイントに、またはその近傍に配置されるからである。動作の間、センサはアクチュエータの剛体運動と変形の両方を検出する。剛体運動からの信号成分は常に、変形による信号成分よりもかなり大きい。コロケートされるフィードバック・ループは、通常のフィードバック・ループと協働し、あたかもサーボ系の機械構造が、それが実際に所有するよりも相当に高い機械的制動を有するかのようになり、サーボ系を動作させる効果を有する。

【0010】Sidmanらによるシステムは、内部的及び外部的に誘起された振動モードの位置決め制御及び公差を改善するが、依然利得フィルタに頼る。これらのフィルタのマイナス効果の一部が、コロケートされるフィードバック・ループにより緩和されるが、最も重大な欠点、特に適切なシステム設計を保証するために技術者が事前に振動モードを知らなければならない必要性が未然に防げない。更に、センサから導出される信号が大きな剛体成分を含み、これもまたフィードバック・ループにより処理され、アクチュエータの剛体運動特性に影響を及ぼす。アクチュエータの剛体特性は保存されるべきであるので、これは好ましくない。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】従って、サーボ制御式アクチュエータ・システムを安定化する課題がまだ残されている。フィルタリング技術を用いる解決策は、例え

は高密度ハード・ディスク・ドライブなどの高精度領域では不十分である。なぜなら、それらは系の振動モードの事前の知識を要求するからである。一方、伝達関数を解くことにより振動モードを決定することは、ほとんどの実際の場合では計算的に容易でないか、不可能である。

【0012】最後に、従来システムは複数の振動モードを同時に能動的に補正できない制限を受ける。特に、2つ以上の単一モードが能動制御として選択される場合、システム安定性がリスクに晒される。

【0013】従って、本発明の第1の目的は、サーボ制御式アクチュエータ・システムを安定化する能動制御機構を提供し、従来技術の欠点を克服することである。特に、本発明の制御機構は、利得フィルタリングの制限を回避し、アクチュエータの全動作範囲に渡り、複数の振動モードを能動的に補正することにより、効果的なフィードバックを提供するように設計される。それにより、一層高い帯域幅動作を可能にする。

【0014】本発明の別の目的は、デジタル・サーボ制御装置における系の振動モードに関する事前知識を要求することなく、制御機構を設計することである。

【0015】本発明の別の目的は、サーボ制御系の安定動作帯域幅を増加させ、例えばハード・ディスク・ドライブの分野において、1インチ当たり高いトラック数(TPI: tracks per inch)を有する装置を設計可能にすることである。

【0016】更に本発明の別の目的は、効率的なフィードバック信号を生成するように、本発明のシステムを動作させる方法を提供することである。本方法は計算労力を制限し、システムが振動を迅速且つ確実に補正することを保証する。

【0017】最後に、本発明の更に別の目的は、伝達関数を直接解く必要性を回避することである。

【0018】前記の目的及び利点、及び本発明のシステム及び方法により達成される多数の改善が、以下で述べられる。

【0019】

【課題を解決するための手段】これらの目的及び利点が、サーボ制御式アクチュエータ・システムを安定化するための能動制御機構により達成される。アクチュエータ・システムが、アーム・アセンブリと、アーム・アセンブリ上に搭載される被制御要素と、アーム・アセンブリを移動することにより、被制御要素を移動するアクチュエータと、被制御要素の変位を示す位置信号を生成する位置センサとを有し、位置センサが、例えば被制御要素自身であり得る。アーム・アセンブリは動作中に振動モードに遭遇し、これが能動制御機構により補正される。

【0020】能動制御機構は、アクチュエータに取り付けられる1つ以上の個々のセンサを含み得るセンシング

機構を有し、これらのセンサが、振動モード、特に全ての主要振動モードに相関付けられ、それらと同位相の信号を生成する。制御機構がセンサに接続され、それらの信号から3つの補正項、すなわちスチフニング補正、能動制動補正、及び慣性低減補正を有する調整信号を導出する。制御回路、位置センサ、及びアクチュエータに接続される結合要素が、調整信号と位置信号とを結合し、フィードバック信号を生成する。このフィードバック信号が、結合要素とアクチュエータに接続される電流源を介して、アクチュエータを駆動するために使用される。通常、電流源は単に、フィードバック信号に比例する電流をアクチュエータに供給する。

【0021】好適な実施例では、アクチュエータが例えばVCMコイルなどのコイルであり、センサが主要振動モードにより生成されるコイルの面内揺れ変形を検出する。システムで使用するのに好適なタイプのセンサには、ひずみセンサ、ひずみ率センサ、及びひずみ加速度センサが含まれる。特に好適なセンサのタイプは、ひずみ率センサである。この場合、制御機構がスチフニング補正を生成する積分器と、能動制動補正を生成する線形要素と、慣性低減補正を生成する微分器とを有する。

【0022】アーム・アセンブリは通常、コイルが実装されるコイル支持材を有し、コイルの揺れ変形がコイル支持材の変形を生成し、これがセンサにより登録される。実際、最良の結果のために、センサはコイル支持材上に実装される。コイルのネットの面内揺れ変形に関して、センサ信号が全ての主要モードと同位相になるための基準に合致する他の位置も存在する。

【0023】ハード・ディスク・ドライブなどの一部のアプリケーションでは、好適なタイプのアクチュエータはロータリ・アクチュエータである。この場合、もちろん、被制御要素は読取り/書き込みヘッドである。他のアプリケーションでは、例えばリニア変位など、ロータリ調整以外を実行するアクチュエータが要求され、他のタイプの制御要素を使用する。

【0024】実施例に依存して、制御機構はセンサから受信された信号から不要な高周波雑音成分を除去するための、ローパス・フィルタを要求し得る。更に、割込み回路または装置が制御機構に接続され、アーム・アセンブリがシーク時に加速している間、制御機構の動作を停止し得る。

【0025】本発明の方法は、振動モードに相関付けられ、振動モードとほぼ同位相の信号に頼ることにより、アクチュエータ・アセンブリを能動的に安定化する。実際、振動モードは主要モード及び重要でないモードを含み、センサは主要モードに相関付けられ、それらとほぼ同位相の信号を生成しなければならない。これはセンサの適切な配置により保証される。こうした配置は経験的方法または計算による方法により突き止められる。

【0026】経験的方法では、センサがアクチュエータ

またはコイル支持材のテスト位置に、取り外し可能に固定される。次に、センサにより伝達される信号が、主要振動モードと同位相になる最終位置または配置に達するまで、テスト位置が調整される。センサが次に永久的に最終位置に取り付けられる。計算による方法は、アクチュエータの振動モードを分析し、この分析にもとづき最終位置を決定する。

【0027】3つの補正項は、信号を微分し、乗算し、積分することにより導出される。各補正項を導出するために要求される演算は、使用されるセンサが、ひずみ S 、ひずみ率 S' 、またはひずみ加速度 S'' のいずれを測定するかに依存する。好適な実施例では、センサはひずみ率 S' を測定し、ひずみ率信号を積分することによりスチフニング補正が導出され、信号に定数を乗算することにより、能動制動補正が導出され、信号を微分することにより、慣性低減補正が獲得される。

【0028】本発明の詳細が、付随の図面を参照しながら後述される。

【0029】

【発明の実施の形態】

【数1】



は、以降パーXと記載する。

【0030】図1は、ハード・ディスク・ドライブにおけるサーボ制御式アクチュエータ・システム10の好適な実施例を示す。アクチュエータ・システム10は、被制御要素14、この場合、読取り／書き込みヘッドを装備されたアーム・アセンブリ12を有する。アーム・アセンブリ12は主アーム16と、ジョイント20により主アームに結合された副アーム18とを有する。アセンブリ12全体は、ハブ30上に実装される。読取り／書き込みヘッド14は、同心データ・トラック24を有するディスク22上に位置決めされ、動作中にハブ30の回りを回転することにより、様々なトラック24をアクセスする。アーム・アセンブリ12のこの一般的な構成は、ハード・ディスク・ドライブの分野において周知である。

【0031】アクチュエータ26は、この例ではコイル、例えばVCMコイルであり、読取り／書き込みヘッド14とは反対側の、クレードル (cradle) またはコイル支持材28内に実装される。アクチュエータ26は、アーム・アセンブリ12をハブ30の回りを回転させることにより移動する。結果的に、このアクチュエータ26*

$$\Delta_{in-plane} = \int_{coil} \overline{\varphi}_i(x, y, z) \cdot \overline{F}(x, y, z) dx dy dz$$

【0036】ここでパーFはコイル26に加えられる力である。従って、i番目の振動モードによりセンサ32に検出されるひずみ ε_i も、モード形状を示すパー ϕ_i の

*はロータリ・アクチュエータとして知られる。回転量は、コイル26を導通される電流の形式のフィードバック信号50 (図3参照) により制御される。フィードバック信号50は、後述の本発明の方法に従い導出される。

【0032】図2の上面図でより詳細に示されるように、2つのセンサ32及び34が、アーム・アセンブリ12のクレードル28上に、コイル26の両側に沿って取り付けられる。この位置において、センサ32、34は、コイル26が遭遇する面内揺れ変形に感応する。換言すると、アーム・アセンブリ12が動作中に振動モードに遭遇すると、センサ32、34がこれらの振動モードに相関付けられる信号を生成する。これはコイル26の面内揺れ変形が、クレードル28の変形に変換されるからである。

【0033】ほとんどの例において、アーム・アセンブリの振動モードを表す伝達関数 $H(s)$ を得るために、経験的アプローチが使用される。説明の目的上、図9のグラフは、セイルフィン (Sailfin) と呼ばれる特定のIBM社のアクチュエータの伝達関数を示す。このアクチュエータの構成が、10個の別々のアーム・アセンブリを有する。最も傑出した振動モードは、約3500Hzを中心とする"バタフライ・モード"であり、Sモードが約4200Hzに見い出され、更にエンドアーム・モードが約4800Hzに、第2のバタフライ・モードが約5800Hzに見い出される。"バタフライ・モード"の利得は、典型的なアーム・アセンブリの動作帯域幅を制限する主要因となる。

【0034】これらの振動モード、及び能動補正を要求するアーム・アセンブリ12の他の振動モードを適切に補正するために、センサ32及び34が、それらの信号がアーム・アセンブリ12の振動モードに相関付けられるように配置される。任意の機械システムにおいて、アーム・アセンブリ12が振動するとき、振動が"モード形状 (mode shape)" と呼ばれる固有の振動形状を有する幾つかの振動モードに分解され得る。i番目のモードのモード形状を示すパー ϕ_i が、位置 (x, y, z) の関数として次のように表される。

【数2】

$$\overline{\varphi}_i = \overline{\phi}_i(x, y, z)$$

【0035】コイル26のネットの面内揺れ変形 $\Delta_{in-plane}$ は、次のように表される。

【数3】

関数であり、次のように表される。

【数4】

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i(\varphi_i)$$

【0037】揺れ変形 $\Delta_{i, \dots, i, \dots}$ の符号が、センサ32の位置におけるひずみ ε_i の符号と同一である場合、センサ32により生成される信号は、 i 番目の振動モードと同位相である。センサ32は、その信号と i 番目の振動モードとの間に、こうした面内相関が存在する位置に配置される。この特定の実施例では、2つのセンサ32、34が使用されるので、 ε_i が両方のセンサ位置におけるひずみに重み係数を乗算した結果の合計により置換される。

【0038】センサ32、34の適切な配置が、図4及び図5により詳細に示される。単純化のため、図4はセンサ32の3つのテスト位置A、B、Cだけを示す。伝達関数 $H(s)$ は複数のモードを含み、それらの3つすなわちモード i 、 j 及び k は重要であり、能動的に補正されなければならない。これらは第1のバタフライ・モード、及び第1及び第2のエンドアーム・モードに対応し、それらの高利得及び軽度な制動により、サーボ性能及び帯域幅を直接制限する。残りのモードは、低利得を有し、高度に制動される重要でないモードや、非常に低い利得を有し、頻繁に関心の対象から外れる無視できるモードである。

【0039】各位置において、センサ32は効果的に、全ての振動モードを2つのグループに区分する。第1のグループは、センサ32の信号と同位相であり、他のグループは位相を異にする。センサ32の最終的な位置では、全ての主要モード i 、 j 及び k が、その信号と同位相でなければならない。重要でないモード及び無視できるモードとの位相関係は重要でなく、これらは全て位相区分から除外される。実際、重要でないモードは一般に、元来の材料制動により安定を維持する。

【0040】図5の表は、センサ32の出力信号と、揺れ変形 $\Delta_{i, \dots, i, \dots}$ に関する主要モード i 、 j 及び k との位相関係を示す。位置Aでは、センサ32の信号が、モード i 、 j 及び k と同位相である。位置Bでは、センサ32の信号が、モード i 及び j と位相を異にし、位置Cでは、センサ32の信号がモード k と位相を異にする。従って、センサ32を永久的に実装するのに適切な最終的な位置は、位置Aである。

【0041】實際上、センサ32及び34の適切な最終的な位置は、コンピュータにより実行されるアルゴリズムなどの、経験的方法または分析的方法により見いだされる。例えばアーム・アセンブリ12が、ハード・ディスク・ドライブで使用されるロータリ・アクチュエータ・システムに属する場合など、アーム・アセンブリ12の機械的構造が特殊に設計される場合、潜在的な最終位置の付近は容易に予測でき、従って経験的なアプローチが

実行可能である。例えば、IBM社のセールフィン・アクチュエータでは、第2のアーム乃至最下部のアームの右側が、最終センサ位置を探索する上で、一般に適切な領域である。

【0042】分析的アプローチは、アーム・アセンブリ12をモデル化するステップを含む。これは例えば、有限要素分析ソフトウェアの支援により実行される。分析がアーム・アセンブリ12上の、特にクレードル28上の最終位置Aを突き止める。そこでは、センサ信号が主要モードと同位相である。これらの位置は、センサ32及び34が永久に取り付けられる最終位置のセットである。

【0043】図3のブロック図は、アクチュエータ・システム10の不可欠な部品を示し、それらの協働を説明する。前述の要素に加え、アクチュエータ・システム10は位置センサ36を含み、これは標準的な素子であり、アーム・アセンブリ12上にまたはそこから離れて実装され、読取り/書込みヘッド14の変位または瞬時位置を示す位置信号38を生成する。実際、位置センサ36は単に読取り/書込みヘッド14自身であり得、位置信号38がヘッド14により、ディスク22上に配置されたマーク、特にトラック24内に見いだされる位置情報から導出され得る。或いは、読取り/書込みヘッド14が、ディスク22上に予め記録されたサーボ情報、例えばディスク22の回りに、角度的に間隔をあけて配置されたサーボ・セクタから読出される、ヘッド位置誤差信号(PES)を使用する。

【0044】位置センサ36または読取り/書込みヘッド14が、デジタル・サーボ40に接続される。デジタル・サーボ40は、フィードバック・ループ42の一部であり、読取り/書込みヘッド14の位置にもとづき、アクチュエータ26の動作を制御する。

【0045】センサ32、34は、図中破線で示される任意選択のフィルタ46(通常ローパス・フィルタ)、及び任意選択の加速度割込み回路48を介して、能動アクチュエータ制御44に接続される。好適な実施例では、フィルタ46が存在し、センサ32、34により生成される信号52から高周波雑音成分を除去する。割込み回路48もまた好適な実施例では存在し、アーム・アセンブリ12が加速している間、アクチュエータ制御44を無効にする。これは例えば、読取り/書込みヘッド14が回転中に、ディスク22上のデータ・トラック24を切り替わるとき発生する。

【0046】アクチュエータ制御44は、スチフニング部54、能動制動部56、及び慣性低減部58を有する。これらの部分が信号52から、スチフニング補正、能動制動補正、及び慣性低減補正を導出する。結合されたこれらの3つの補正項が調整信号60を表し、これが結合器または加算器62に送信される。実際、加算器62はアクチュエータ制御44だけでなく、デジタル・サ

10

20

30

40

50

ーボ40にも接続される。従って、加算器62は、デジタル・サーボ40により転送される位置信号38を調整信号60に加算し、フィードバック信号50を生成する。好適には、フィードバック信号50は電流であり、加算器62がコイル26の電流を制御する電流源64に直接接続され、フィードバック・ループ42が完成される。もちろん、フィードバック信号50を処理するために、増幅器及びフィルタが要求され得る。フィードバック・ループ42内でのこれらの要素の使用は直接的であり、それらの必要性及び好適な位置は、当業者により容易に決定され得る。

【0047】3つの補正項が計算される詳細について、図6の一般化された図を参照して説明する。計算がセンサ32、34、及び任意の数のセンサ n に適用される。従って図6では、センサ32、34が任意の数のセンサ66により置換され、各々が部分信号 $a_i S_i$ を転送し、合計信号52または S が次のように表される。

【数5】

$$S = \sum_{i=1}^n a_i S_i$$

【0048】ここで a_i は定数または重み係数である。この実施例では、センサ66がひずみセンサであり、結果的に部分信号 S_i が事実上、重み係数 a_i により重み付けされたひずみ信号 ε_i である。

【0049】合計ひずみ信号 S が、スチフニング部54、能動制動部56、及び慣性低減部58に転送される。スチフニング部54は乗算器または線形要素であり、ひずみ信号 S に負の定数 $-k$ を乗算し、スチフニング補正を生成する。能動制動部56は、ひずみ信号 S を微分し、ひずみ率 dS/dt (S')を生成する微分器と、 S' に負の定数 $-D$ を乗算し、能動制動補正を生成する線形要素とを有する。最後に、慣性低減部58は、2つの微分器と線形要素とを有し、ひずみ信号 S を2度微分し、結果のひずみ加速度信号 $d^2 S/dt^2$ (S'')に正の定数 I を乗算する。線形要素及び微分器は公知であり、3つの補正項の各々を生成するためにそれらが使用される様子は、当業者には明らかであろう。

【0050】補正項が結合されて、調整信号60が生成され、これが加算器62に送信される。加算器62で調整信号60が位置信号38と結合され、フィードバック信号50が生成され、これが電流源64に送信される。フィードバック信号50を増幅する任意選択の増幅器68が、電流源64の前段に接続される。

【0051】センサ66は、ひずみ率センサまたはひずみ加速度センサにより置換され得る。實際上、ひずみ率 S' を示すセンサの使用が好適である。なぜなら、それらはアクチュエータ制御44に対する計算要求またはハードウェア要求を低減するからである。これが図7に示

され、そこでは信号52がひずみ率信号 S' である。スチフニング部70は、ひずみ率 S' を積分する積分器と、それを負の定数 $-k$ と乗算する線形要素とを含む。能動制動部72は、 $-D$ に等しい乗数器を有する線形要素により置換される。慣性低減部74は、1つの微分器と、 I に等しい定数を有する乗算器とを含む。信号52がひずみ加速度 S'' を表す場合が、図8に示される。図8では、スチフニング部76、能動制動部78及び慣性低減部80が、それぞれ、2重積分及び乗算、積分及び乗算、及び乗算を実行する。

【0052】本発明の方法をIBM社のセルフィン・タイプのアクチュエータに適用した結果が、図9乃至図13に示される。この例におけるセンサは、アクチュエータの第2のアーム乃至最下部のアーム（アーム・アセンブリ10の9番目のアーム）の右側に配置される。

【0053】図9では、グラフ100は、能動補正が適用されない場合の、9番目のアームの伝達関数を示す。全ての主要モードに対する利得ピークが観測され、それらのモードには、第1のバタフライ・モード102、 S モード104、第1のエンドアーム・モード106、第2のエンドアーム・モード108、及び第2のバタフライ・モード110が含まれる。グラフ112は、アクチュエータ制御44がオンされ、能動制動/スチフニングを提供するときの伝達関数を示す。全ての主要モード102、104、106、108及び110が明らかな利点を享受し、モード102では30dB以上の低下が得られる。

【0054】図10のグラフは、アクチュエータ制御44がスチフニング補正を適用するときの、全てのアームに対するセルフィン・アクチュエータの伝達関数を示す。図11のグラフは、慣性低減補正が適用されるとき、セルフィン・アクチュエータの伝達関数を示す。

【0055】全ての補正項を使用するときの、セルフィン・アクチュエータ全体に対する能動補正の一般的な効果が、図12乃至図13の伝達関数グラフにより示される。図12では能動補正が使用されない。図13ではアクチュエータ制御44がオンされ、バタフライ・モードにおいて伝達関数が約25dBの利得低下が示され、 S モードにおいて2dB、またエンドアーム・モードにおいて6dBの利得低下が示される。

【0056】3つの主要モードに対するこれらの結果は、利得フィルタリングを使用することなく、また関連する欠点を招くことなく達成される。更に、系の振動モードの事前知識が要求されず、伝達関数 $H(s)$ が計算される必要がない。本方法はアーム・アセンブリ12の剛体運動をセンサすることなく、変形だけを自動的に検出するので、フィードバック・ループ内の剛体信号を処理しなければならない従来技術の欠点を克服し、それによりフィードバック性能に影響を及ぼす。

【0057】従って、アクチュエータ・システム10は

10

20

30

40

50

安定な動作を享受し、ハード・ドライブの設計者が、1インチ当たりのトラック数(TPI)を多大に増加することを可能にする。もちろん、動作安定性は、他のアクチュエータ・システムの帯域幅及び応答特性の改善にも移植され得る。

【0058】前述の実施例は、本発明の範囲から逸れることなく、多くの態様に變更され得る。例えば、センサの信号が主要モードと同位相になるように相関付けるのではなく、信号が全ての主要モードと位相を異にしてもよい。こうした場合は、信号が単に係数-1と乗算され、フィードバック・ループ内で処理するのに適切な位相の信号が獲得される。

【0059】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0060】(1)アクチュエータ・システムを安定化する能動制御機構であって、前記アクチュエータ・システムがアーム・アセンブリと、前記アーム・アセンブリ上に実装され、被制御要素の変位を示す位置信号を生成する前記被制御要素と、前記アーム・アセンブリを移動することにより、前記被制御要素を移動するアクチュエータとを有し、前記アーム・アセンブリが振動モードに遭遇するものにおいて、

a) 前記アクチュエータに取り付けられ、前記振動モードに相関付けられる信号を生成するセンシング手段と、
b) 前記センシング手段に接続され、前記信号からスチフニング補正、能動制動補正、及び慣性低減補正を含む調整信号を導出する制御手段と、

c) 前記制御手段、前記被制御要素、及び前記アクチュエータに接続され、前記調整信号と前記位置信号とを結合し、前記アクチュエータを駆動するためのフィードバック信号を生成する結合要素とを含む、能動制御機構。

(2) 前記制御手段が前記振動モードと同位相の前記信号を生成する、前記(1)記載の能動制御機構。

(3) 前記アクチュエータがコイルを含み、前記センシング手段が前記振動モードにより生成される前記コイルの揺れ変形を検出する、前記(1)記載の能動制御機構。

(4) 前記センシング手段が少なくとも1つのひずみ率センサを含む、前記(3)記載の能動制御機構。

(5) 前記制御手段が、前記スチフニング補正を生成する積分器と、前記能動制動補正を生成する線形要素と、前記慣性低減補正を生成する微分器とを含む、前記

(4)記載の能動制御機構。

(6) 前記アーム・アセンブリがコイル支持材を含み、前記コイルの前記揺れ変形が前記コイル支持材の変形を生成するように、前記コイルが前記コイル支持材内に実装される、前記(3)記載の能動制御機構。

(7) 前記センシング手段が前記コイル支持材上に実装され、前記コイル支持材の前記変形を示す、前記(6)記載の能動制御機構。

(8) 前記結合要素及び前記アクチュエータに接続され、前記フィードバック信号を受信し、前記アクチュエータを駆動する比例電流を生成する電流源を含む、前記(3)記載の能動制御機構。

(9) 前記センシング手段が、ひずみセンサ及びひずみ加速度センサを含むグループから選択される、前記

(1)記載の能動制御機構。

(10) 前記アクチュエータがロータリ・アクチュエータである、前記(1)記載の能動制御機構。

(11) 前記センシング手段及び前記制御手段に接続され、前記信号から高周波成分を除去するフィルタを含む、前記(1)記載の能動制御機構。

(12) 前記制御手段に接続され、前記アーム・アセンブリが加速している間、前記制御手段の動作を中断する割込み手段を含む、前記(1)記載の能動制御機構。

(13) 前記被制御要素が読取り/書込みヘッドであり、前記アクチュエータがハード・ドライブ・アクチュエータ・システムである、前記(1)記載の能動制御機構。

(14) アクチュエータ・システムを能動的に安定化する方法であって、前記アクチュエータ・システムがアーム・アセンブリと、前記アーム・アセンブリ上に実装され、被制御要素の変位を示す位置信号を生成する前記被制御要素と、前記アーム・アセンブリを移動することにより、前記被制御要素を移動するアクチュエータとを有し、前記アーム・アセンブリが振動モードに遭遇するものにおいて、

a) 前記振動モードに相関付けられる信号を生成するステップと、

b) 前記信号からスチフニング補正、能動制動補正、及び慣性低減補正を含む調整信号を導出するステップと、

c) 前記調整信号と前記位置信号とを結合し、フィードバック信号を生成するステップと、

d) 前記アクチュエータを前記フィードバック信号により駆動するステップとを含む、方法。

(15) 前記振動モードが主要モードを含む、前記(14)記載の方法。

(16) 前記生成するステップが、前記振動モードと同位相の前記信号を生成するステップを含む、前記(14)記載の方法。

(17) 前記生成するステップが、前記振動モードと異なる位相の前記信号を生成するステップを含む、前記(14)記載の方法。

(18) 前記アーム・アセンブリが加速している間、前記駆動するステップを中断するステップを含む、前記(14)記載の方法。

(19) a) センシング手段を前記アクチュエータのテスト位置に取り外し可能に取り付けるステップと、

b) 前記信号が最終位置の前記振動モードに相関付けられるまで、前記テスト位置を調整するステップと、

c) 前記センシング手段を前記最終位置に永久に取り付けるステップとを含む、前記(14)記載の方法。

(20) a) 前記アーム・アセンブリの前記振動モードを分析するステップと、

b) 前記信号が前記振動モードに相関付けられる最終位置を決定するステップと、

c) 前記センシング手段を前記最終位置に永久に取り付けるステップとを含む、前記(14)記載の方法。

(21) 前記信号が電流である、前記(14)記載の方法。

(22) 前記センシング手段がひずみSを測定し、前記信号が前記ひずみSに対応する、前記(14)記載の方法。

(23) 前記スチフニング補正を導出するステップが、前記信号に定数を乗算するステップを含み、前記能動制動補正を導出するステップが、前記信号を微分するステップを含み、前記慣性低減補正を導出するステップが、前記信号を2度微分するステップを含む、前記(22)記載の方法。

(24) 前記センシング手段がひずみ率S'を測定し、前記信号が前記ひずみ率S'に対応する、前記(14)記載の方法。

(25) 前記スチフニング補正を導出するステップが、前記信号を積分するステップを含み、前記能動制動補正を導出するステップが、前記信号に定数を乗算するステップを含み、前記慣性低減補正を導出するステップが、前記信号を微分するステップを含む、前記(24)記載の方法。

(26) 前記センシング手段がひずみ加速度S''を測定し、前記信号が前記ひずみ加速度S''に対応する、前記(14)記載の方法。

(27) 前記スチフニング補正を導出するステップが、前記信号を2度積分するステップを含み、前記能動制動補正を導出するステップが、前記信号を積分するステップを含み、前記慣性低減補正を導出するステップが、前記信号に定数を乗算するステップを含む、前記(26)記載の方法。

(28) 複数のデータ・トラックを有する回転式データ・ディスクと、振動モードに遭遇するアーム・アセンブリを有するアクチュエータ・システムと、前記アーム・アセンブリ上に搭載され、前記データ・ディスクにデータを読み書きし、前記データ・ディスク上の所望のデータ・トラックに対する読取り/書き込みヘッドの変位を示す位置信号を生成する前記読取り/書き込みヘッドと、前記アクチュエータ・システムを安定化する能動制御機構とを有する、データ記録ディスク・ドライブであって、前記能動制御機構が、

a) 前記アクチュエータに取り付けられ、前記振動モードに相関付けられる信号を生成するセンシング手段と、

b) 前記センシング手段に接続され、前記信号からスチ

フニング補正、能動制動補正、及び慣性低減補正を含む調整信号を導出する制御手段と、

c) 前記制御手段、前記読取り/書き込みヘッド、及び前記アクチュエータに接続され、前記調整信号と前記位置信号とを結合し、前記アクチュエータを駆動するためのフィードバック信号を生成する結合要素とを含む、データ記録ディスク・ドライブ。

(29) 前記制御手段が前記振動モードと同位相の前記信号を生成する、前記(28)記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

(30) 前記アクチュエータがコイルを含み、前記センシング手段が前記振動モードにより生成される前記コイルの揺れ変形を検出する、前記(28)記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

(31) 前記センシング手段が少なくとも1つのひずみ率センサを含む、前記(30)記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

(32) 前記制御手段が、前記スチフニング補正を生成する積分器と、前記能動制動補正を生成する線形要素と、前記慣性低減補正を生成する微分器とを含む、前記(31)記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

(33) 前記アーム・アセンブリがコイル支持材を含み、前記コイルの前記揺れ変形が前記コイル支持材の変形を生成するように、前記コイルが前記コイル支持材内に実装される、前記(30)記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

(34) 前記センシング手段が前記コイル支持材上に実装され、前記コイル支持材の前記変形を示す、前記(33)記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

(35) 前記結合要素及び前記アクチュエータに接続され、前記フィードバック信号を受信し、前記アクチュエータを駆動する比例電流を生成する電流源を含む、前記(30)記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

(36) 前記センシング手段が、ひずみセンサ及びひずみ加速度センサを含むグループから選択される、前記(28)記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

(37) 前記アクチュエータがロータリ・アクチュエータである、前記(28)記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

(38) 前記センシング手段及び前記制御手段に接続され、前記信号から高周波成分を除去するフィルタを含む、前記(28)記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

(39) 前記制御手段に接続され、前記アーム・アセンブリが加速している間、前記制御手段の動作を中断する割込み手段を含む、前記(28)記載のデータ記録ディスク・ドライブ。

(40) 前記被制御要素が読取り/書き込みヘッドであり、前記アクチュエータがハード・ドライブ・アクチュエータ・システムである、前記(28)記載のデータ記

録ディスク・ドライブ。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に従うアーム・アセンブリを有するアクチュエータ・システムの斜視図である。

【図2】図1のシステムのアーム・アセンブリの上面図である。

【図3】本発明に従う能動制御システムのブロック図である。

【図4】コイル支持材上のセンサの位置決めを示す概略図である。

【図5】ネットの面内揺れ変形に関する、ひずみセンサ出力と主要振動モードとの面内関係を示す表である。

【図6】ひずみセンサを使用するときの、調整信号の計算を示すブロック図である。

【図7】ひずみ率センサを使用するときの、調整信号の計算を示すブロック図である。

【図8】ひずみ加速度センサを使用するときの、調整信号の計算を示すブロック図である。

【図9】能動補正の有無の違いによる、IBM社のセールフィン・アクチュエータに属する1アーム・アセンブリの伝達関数を示すグラフである。

【図10】能動補正が能動スチフニングを含むときの、IBM社のセールフィン・アクチュエータの伝達関数を示すグラフである。

【図11】能動補正が能動質量低減を含むときの、IBM社のセールフィン・アクチュエータの伝達関数を示すグラフである。

【図12】制動補正が無い場合の、IBM社のセールフィン・アクチュエータの伝達関数を示すグラフである。

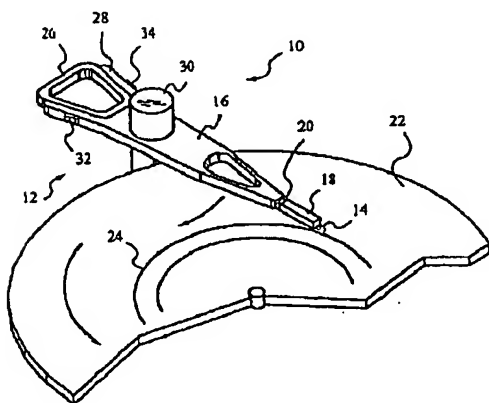
【図13】制動補正の中間レベルがある場合の、IBM*30

*社のセールフィン・アクチュエータの伝達関数を示すグラフである。

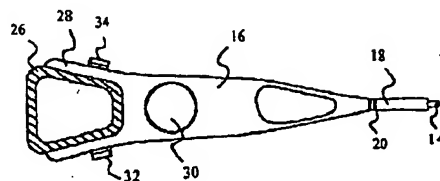
【符号の説明】

- 10 アクチュエータ・システム
- 12 アーム・アセンブリ
- 14 被制御要素（読取り／書き込みヘッド）
- 16 主アーム
- 18 副アーム
- 20 ジョイント
- 22 ディスク
- 24 データ・トラック
- 26 アクチュエータ（コイル）
- 28 クレードル（コイル支持材）
- 30 ハブ
- 32、34、66 センサ
- 38 位置信号
- 40 デジタル・サーボ
- 42 フィードバック・ループ
- 44 能動アクチュエータ制御
- 46 フィルタ
- 48 加速度割込み回路
- 50 フィードバック信号
- 52 センサ出力信号
- 54、70、76 スチフニング部
- 56、72、78 能動制動部
- 58、74、80 慣性低減部
- 60 調整信号
- 62 加算器
- 64 電流源
- 68 増幅器

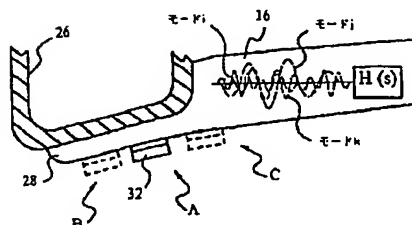
【図1】



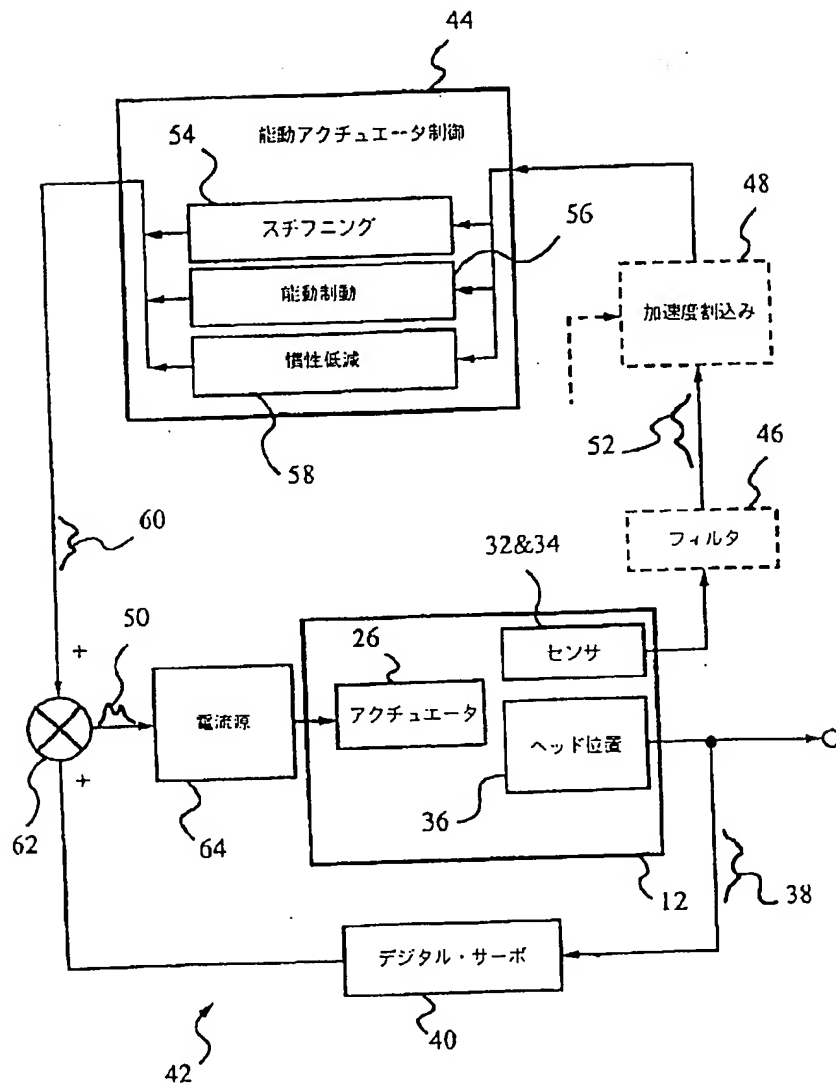
【図2】



【図4】



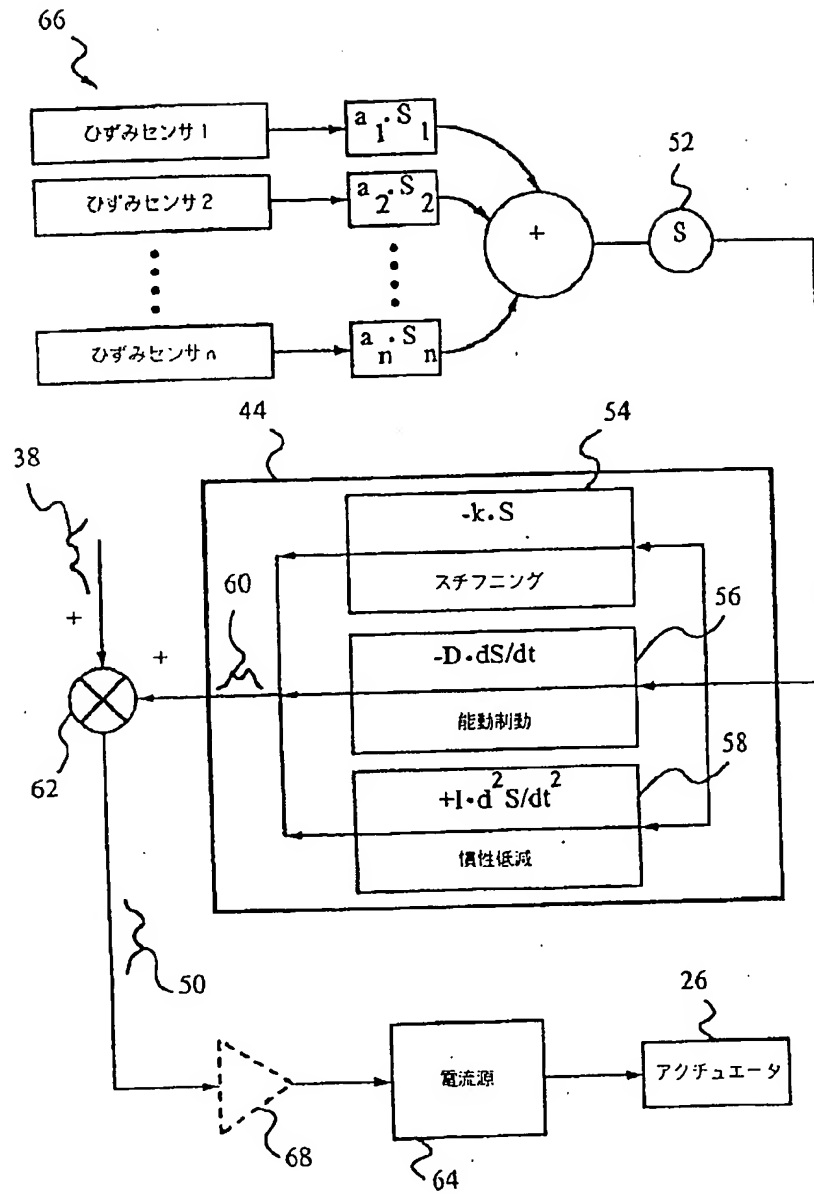
【図3】



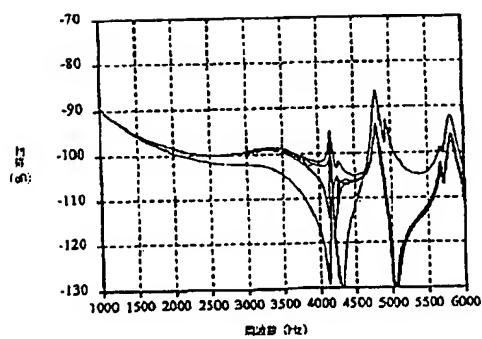
【図5】

	モードi	モードj	モードk	...
$\Delta_{k-i, j}$ の符号	+	-	+	...
センサ位置Aにおける ϵ_i の符号	+	-	+	...
センサ位置Bにおける ϵ_i の符号	-	+	+	...
センサ位置Cにおける ϵ_i の符号	+	-	-	...

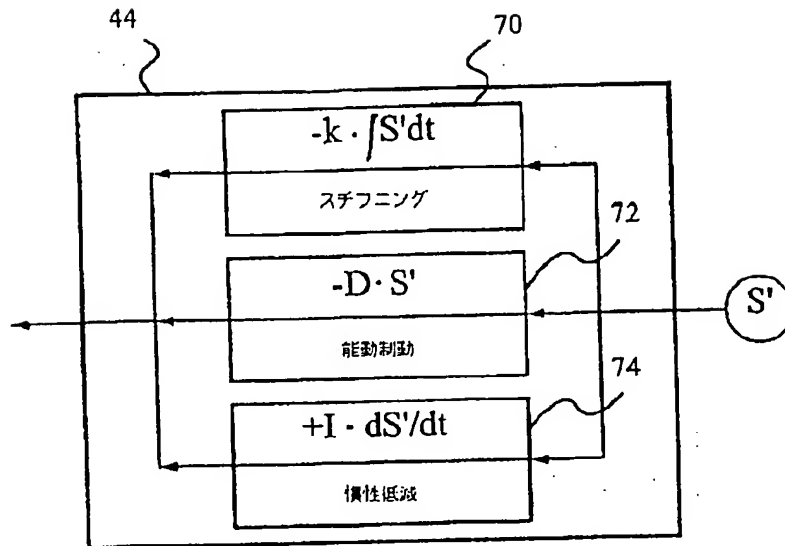
【図6】



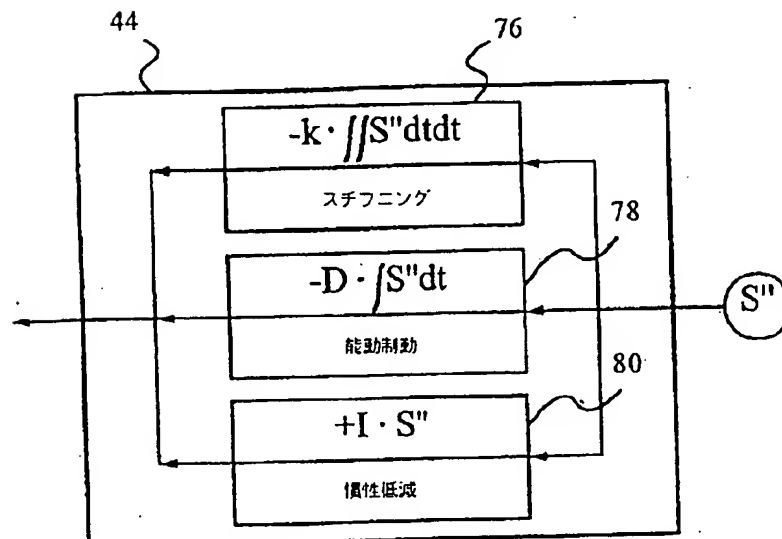
【図13】



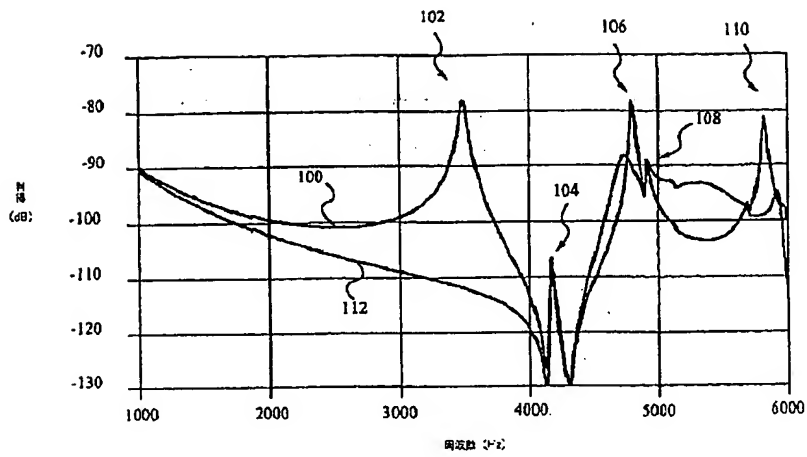
【図7】



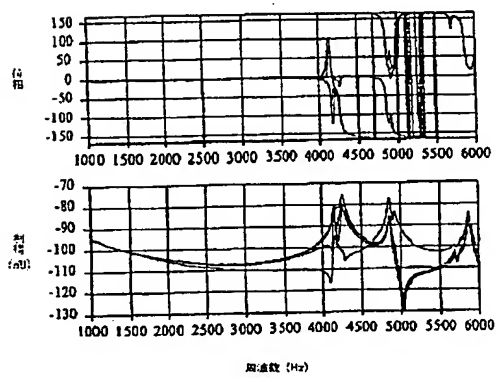
【図8】



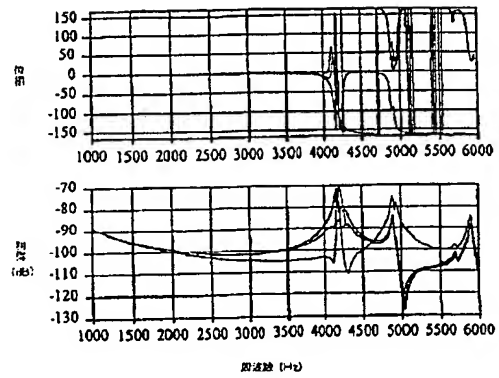
【図9】



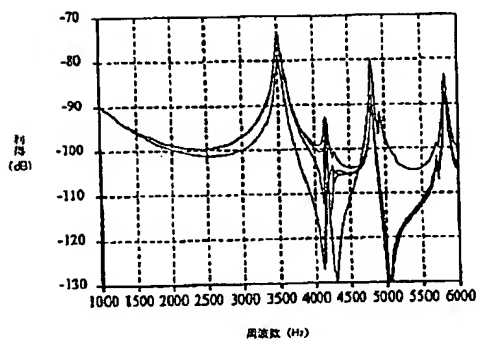
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 ウェイン・イサミ・イマイノ
アメリカ合衆国95139、カリフォルニア州
サン・ノゼ、スティルウォーター・レーン
198

(72)発明者 フランシス・シィ・リー
アメリカ合衆国95120、カリフォルニア州
サン・ノゼ、フォックスハースト・ウェイ
1112

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.